

Рис. 1. Зависимость дрейфовой скорости электронов от времени процесса моделирования

ЛИТЕРАТУРА

1. Fischetti, M. V. Monte Carlo study of electron transport in silicon inversion layers / M. V. Fischetti, S. E. Laux // *Physical Review B*, V. 48, N. 4, 1993, P. 2244-2274.
2. Imagama, S. Monte Carlo modeling of electron transport in Si metal-oxide-semiconductor inversion layer including quantum state and buck scattering / S. Imagama and Y. Hayafuji // *J. Appl. Phys.*, V. 70 (3), No. 1, August 1991, P. 1522-1530.
3. Chu-Hao. Monte Carlo study of two-dimensional electron gas transport in SiMOS device / Chu-Hao, J. Zimmermann, M. Charef, R. Fauquembergue, E. Constant // *Solid State Electron*. V. 28, N. 8, 1985, P. 733-740.
4. Мищенко, В.Н. Особенности электронного транспорта в полевых транзисторах с соединением материалов GaAs/Al_xGa_{1-x}As: сб. докладов VI Международной научной конференции «Материалы и структуры современной электроники», / В.Н. Мищенко, 10-11 октября 2012. Минск. 2012. С. 57.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННЫХ ОЛОВОМ СЛОЯХ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

М. А. Моховиков¹, Ф. Ф. Комаров¹, Л. А. Власукова², О. В. Мильчанин¹,
И. Н. Пархоменко², Э. Вендлер³, В. Веш³

¹Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета,
m.mohovikov@gmail.com

²Кафедра физической электроники и нанотехнологий,
Белорусский государственный университет,

³Университет им. Ф. Шиллера, Йена, Германия

В настоящее время большой интерес исследователей вызывают процессы создания кремниевых структур, содержащих нанокластеры (НК) прямозонных полупроводников, а также металлических нанокластеров. При использовании в приборах памяти металлические НК обладают преимуществами по сравнению с полупроводниковыми – у них более высокая плотность состояний вблизи уровня Ферми и более

однородные зарядовые характеристики [1, 2]. Среди полупроводниковых материалов широкозонные оксиды металлов характеризуются удачной комбинацией высокой проводимости и высокой прозрачности в видимом диапазоне спектра. Как известно [3], диоксид олова (SnO_2) — прямозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны 3,6 эВ — имеет хорошие перспективы применения в светоизлучающих и лазерных диодах видимого и УФ диапазонов электромагнитного спектра [4]. Одним из способов получения НК олова может быть высокодозная ионная имплантация с последующим отжигом. Целью данной работы являлось изучение влияния режимов имплантации и постимплантационной термообработки на процессы структурных преобразований и оптические свойства системы « SiO_2 : Sn».

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходных образцов использовались термически оксидированные пластины кремния — структуры SiO_2/Si . Толщина слоя SiO_2 составляла 600 нм. Имплантация ионов олова (200 кэВ, $D = 5 \times 10^{16}$ и $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$) проводилась при комнатной температуре. Последующие термообработки осуществлялись при 800 и 900 °С в течение 60 мин на воздухе.

Для анализа распределения внедренной примеси по глубине имплантированных образцов использован метод резерфордовского обратного рассеяния (RBS) (ионы He^+ с энергиями 1,4 и 1,5 МэВ); структурно-фазовые превращения исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) в геометрии cross-section; оптические свойства имплантированных образцов — методом фотолюминесценции (ФЛ) в области 1,25–4,25 эВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 1 приведены результаты исследований имплантированных оловом структур SiO_2/Si методами ПЭМ и RBS. После имплантации в SiO_2 ионов олова с меньшей дозой (рис. 1а и 1б) было зафиксировано формирование неоднородной многослойной структуры, состоящей из преципитатов олова различных размеров. Глубинный профиль распределения концентрации примеси в случае меньшей дозы имплантации сопоставим с расчетным и имеет симметричный гауссоподобный вид. При имплантации с большей дозой наблюдается аномальное распределение олова — ассиметричная форма профиля и максимум концентрации сильно смещен к поверхности. Такая форма профиля олова не может быть объяснена только эффектом распыления диоксида кремния при высокодозной имплантации.

Термообработка имплантированных оловом структур SiO_2/Si приводит к существенной диффузии олова как к поверхности, так и вглубь матрицы до глубины 300 нм. Можно отметить, что отжиг уже при 800 °С образца, имплантированного дозой $1 \times 10^{17} \text{ Sn/см}^2$ (рис. 1б) приводит к возникновению механических напряжений и деформации поверхности, а также формированию скоплений кластеров олова. При дальнейшем отжиге происходит увеличение кластеров и образование областей серого контраста вокруг кластеров. Возможно это связано с тем, что формируется новая фаза олова, предположительно SnO_2 . Также были рассчитаны слоевая плотность и средние размеры нанокластеров в отожженных образцах и проведена оценка количества атомов олова, находящихся в кластерах. По нашим расчетам, количество Sn в кластерах не превышает 50% для дозы имплантации $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ и <25 % для дозы $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Остальная примесь, по всей видимости, растворена в матрице SiO_2 в раз-

личных фазах [5,6]. В нашем случае велика вероятность формирования фазы SnO_2 , так как отжиг проводился в кислородосодержащей среде. Это может приводить к появлению большого количества кислородных вакансий, дивакансий в матрице диоксида кремния, вплоть до появления микропор.

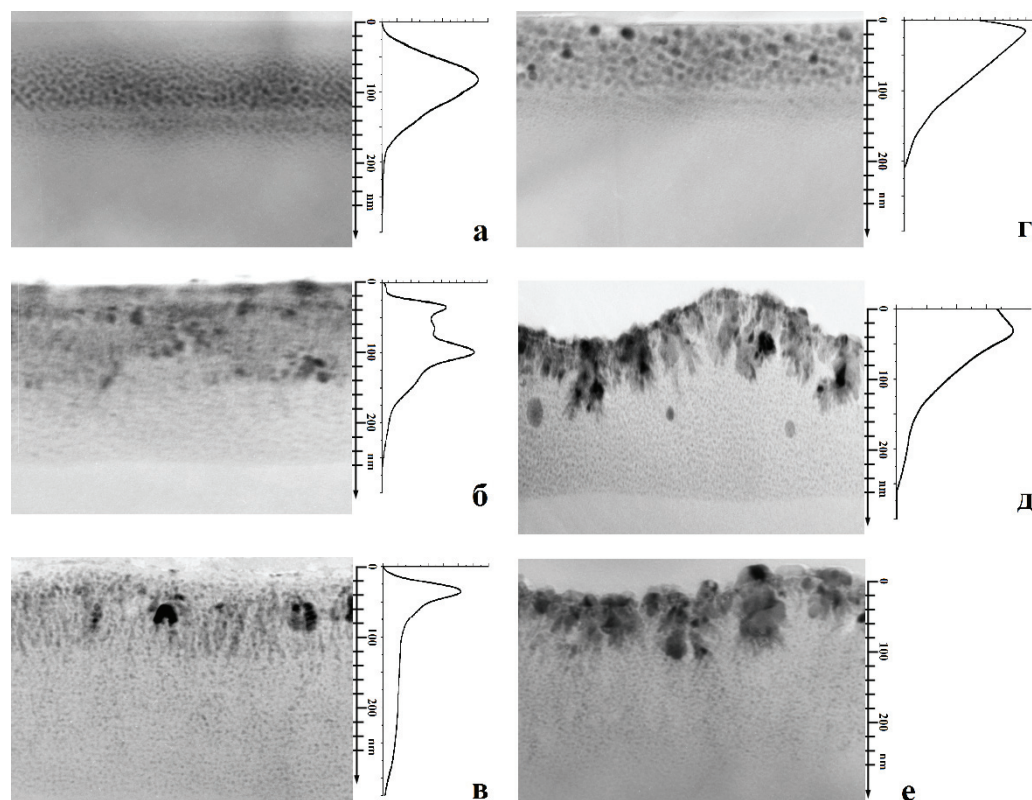


Рис. 1. ПЭМ-микрофотографии и профили распределения примеси от структур SiO_2/Si после имплантации ионов олова с энергией 200 кэВ и дозами $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (а, б, в) и $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (г, д, е), а также после термообработок: 800 °С (б, д) и 900 °С (в, е)

На рис. 2 представлены спектры ФЛ. Установлено, что имплантация высоких доз олова и последующая термообработка структур SiO_2/Si приводит к интенсивной фотолюминесценции при комнатной температуре в области 1,5—3,5 эВ. В спектрах ФЛ четко выражены три полосы с максимумами при 1,6, 2,0—2,5 эВ и 3,0—3,2 эВ. Последняя полоса имеет максимальную интенсивность.

На основании данных рис. 2 можно заключить, что с увеличением дозы имплантации олова и температуры термообработок интенсивность фотолюминесценции в области 3,0—3,2 эВ существенно возрастает. Сравнение результатов с литературными данными позволяет сделать предположение, что интенсивная фотолюминесценция слоев SiO_2 с большим содержанием олова может быть связана с излучающими центрами на дефектах дефицита кислорода (нейтральные кислородные дивакансии и моновакансии).

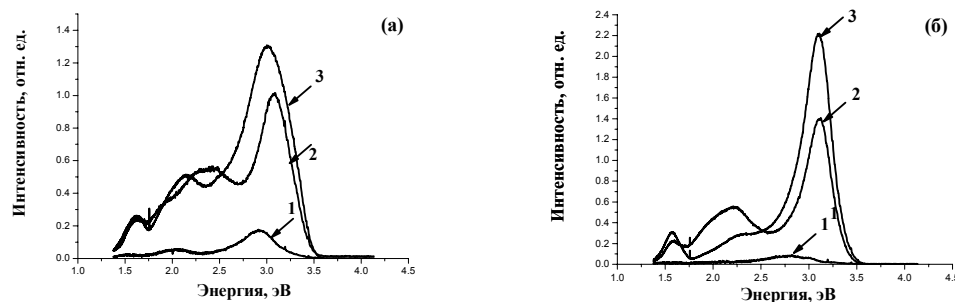


Рис. 2. Спектры люминесценции образцов $\text{SiO}_2(0,6 \text{ мкм})/\text{Si}$, имплантированных ионами олова при дозах $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (а) и $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (б): 1 – без отжига; 2 – после отжига (800°C в течение 60 мин. на воздухе); 3 – после отжига (900°C в течение 60 мин. на воздухе)

ЛИТЕРАТУРА

1. Baumvol I.J.R. Isotopic substitution of Si during thermal growth of ultrathin silicon-oxide films on Si(111) in O_2 / I.J.R. Baumvol [et al.] // Phys. Rev. B. 1999. Vol. 60. P. 1492.
2. Takagahara T. Theory of the quantum confinement effect on excitons in quantum dots of indirect-gap materials / T. Takagahara [et al.] // Phys. Rev. B. 1992. Vol. 46. P. 15578.
3. Inoue Y. Single-electron tunneling through Si nanocrystals dispersed in phosphosilicate glass thin films / Y. Inoue [et al.] // J. Appl. Phys. 1999. Vol. 86. P. 3199.
4. Lopes J.M.J. Effect of annealing atmosphere on the structure and luminescence of Sn-implanted SiO_2 layers / J.M.J. Lopes [et al.] // Appl. Phys. Lett. 2005. Vol. 86. P. 023101.
5. Karim M. Physical Properties of Glasses in the system SnO-SnO_2 / M. Karim [et al.] // Phys. Chem. Glasses. 1995. Vol. 36. P.206.
6. Bent J. F. The structure of tin silicate glasses / J. F. Bent [et al.] // J. Non-Cryst Solids. 1998. Vol. 232-234. P. 300.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ, ИНИЦИИРУЕМОГО НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

С. А. Невзоров, А. И. Шерстнев, К. В. Гирель, В. П. Бондаренко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
vitaly@bsuir.edu.by

В данной работе исследована методика получения пористого кремния методом химического травления, инициируемого наночастицами благородного металла. Проанализирована морфология полученных структур, выявлены закономерности формирования пористых структур.

Одним из методов формирования пористого кремния (ПК) является метод химического травления, инициируемого наночастицами благородного металла. В нашем случае в качестве благородного металла выступает серебро. Благодаря высокой каталитической активности серебра в процессе химического травления кремния возможно получение пористого кремния (в т. ч. кремниевых нанонитей), обладающего оп-